

Analisa Pengaruh Variasi Bentuk Buritan Kapal Terhadap Hambatan Total Pada Kapal *Twin Screw Propeller* Menggunakan Metode CFD

Rizal Zulqurna'in^{1*}, Mardi Santoso², Eko Julianto³

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*}

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia³

Email: rizalzulqur@gmail.com^{1*}; mardisantoso@gmail.com^{2*}

Abstract – One aspect that needs to be reviewed in improving the performance of the ship is the optimal bow and stern form so that the total resistance of the ship can be minimized. In the field of Naval Architecture, it is necessary to start the innovation to test the hull forms, especially stern, which has the smallest resistance. In this study we discuss the testing of the stern model on the 5000 GT Ferry ship with a variety of stern shapes and speeds using the CFD method. The aims to get the stern shape with the smallest total resistance value. Stern 3D modeling and calculation of ship resistance using the Maxsurf software. Analysis conducted using the Computational Fluid Dynamic (CFD) method approach, it can provide an overview of fluid distribution that occurs with predetermined conditions and variations. From the CFD simulation results, at a speed of 15, 17, and 21 knot obtained a stern-shaped ship that has the smallest total resistance value, that is (without sternbulb and hanger), 143,633 kN at a speed of 15 knot, 281,333 kN at a speed of 17 knot and 433,333 kN at 21 knot. While at the speed of 19 knot the model that has the smallest total resistance value is model 3 (with hanger), with a value of 374,467 kN.

Keyword: CFD, ship resistance, stern, twin screw propeller

Nomenclature

ρ	Massa Jenis
R_{TR}	Hambatan total
C_T	Koefisien hambatan total
R_F	Hambatan gesek
LPP	Length Between Perpendiculars
LWL	Length Water Line
B	Breadth molded
H	Height molded
T	Draft / drough
V_s	Speed
C_b	Coeff. Block
C_m	Coeff. Midship
C_p	Coeff. Prismatic
S	Luas permukaan basah
w	Wake

1. PENDAHULUAN

Pada zaman yang modern ini perencanaan kapal berkembang dengan pesat, tantangan utama dalam mendesain kapal adalah sulitnya pencapaian efisien yang optimum, baik dalam segi ekonomis maupun *performance*. Salah satu target optimalisasi efisien desain yaitu untuk mendapatkan kecepatan kapal yang optimum dengan penggunaan daya mesin sekecil mungkin.

Dalam setiap aliran air pada badan kapal sampai ke bagian buritan kapal, selalu terjadi *wake* / arus ikut (w) yang merupakan perbedaan antara kecepatan kapal dengan kecepatan air yang

melalui baling-baling [1]. *Wake* merupakan faktor penyebab munculnya dua macam kecepatan kapal yakni V_s (kecepatan servis) serta V_a (*Velocity of advance* / kecepatan relatif dari partikel air yang melewati baling-baling). Dengan timbulnya *wake* inilah menyebabkan nilai V_a akan selalu lebih kecil dibandingkan dengan nilai V_s . Semakin besar w yang terjadi akan mengakibatkan V_a akan menjadi lebih kecil. Dengan nilai V_a yang semakin kecil maka daya yang diperlukan untuk mendorong kapal agar mencapai kecepatan yang direncanakan akan menjadi lebih besar.

Modifikasi di bagian buritan kapal biasanya dilakukan apabila fungsi dari kapal tersebut dirubah dari fungsi awal, agar kecepatan servis kapal mencapai kecepatan yang diinginkan. Sebagai contoh kapal yang awalnya digunakan diperairan sedang dialih fungsikan trayeknya menjadi daerah perairan dangkal. Tentu saja akan dilakukan modifikasi terutama lambung kapal dan sistem propulsi agar bisa digunakan di perairan dangkal.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan bentuk buritan yang memiliki nilai hambatan total yang paling kecil berdasarkan variasi bentuk yang ada dan untuk mengetahui bentuk buritan yang memiliki nilai hambatan total yang paling kecil untuk beberapa variasi kecepatan yang berbeda.

2. METODOLOGI .

2.1 Kapal Twin Screw Propeller

Berdasarkan jumlahnya, *propeller* terbagi menjadi dua yakni, baling-baling tunggal (*single screw*) dan baling-baling ganda (*twin screw*). Baling-baling tunggal dipergunakan hampir pada semua bentuk dan tipe kapal karena lebih praktis dalam pemasangan dan perawatan yang lebih mudah. Jenis *single screw* ini kebanyakan menggunakan baling-baling putar kanan. Sementara itu, Baling-baling ganda pada umumnya dipasang pada kapal tunda dan Ferry dengan pertimbangan adanya dua mesin yang sejenis (memiliki kapasitas yang sama) tetapi lebih kecil dari mesin tunggal sehingga dapat menghemat pemakaian ruang mesin. Selain itu jika salah satu mesin gagal maka operasional kapal tetap berjalan meskipun dengan kemampuan yang lebih rendah.

2.2 Tahanan Kapal

Berdasarkan pada proses fisiknya, Couser [2] mengemukakan bahwa hambatan pada kapal yang bergerak di permukaan air terdiri dari dua komponen utama yaitu tegangan normal (*normal stress*) dan tegangan geser (*tangential stress*). Tegangan normal berkaitan dengan hambatan gelombang dan tegangan viskos. Sedangkan tegangan geser disebabkan oleh adanya viskositas fluida. Berikut ini merupakan komponen hambatan kapal:

1. Hambatan gesek (*friction resistance*) R_f .
Merupakan komponen hambatan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan akibat pengaruh viskositas fluida (akibat gesekan air terhadap badan kapal). Rumus umum dari tahanan gesek kapal secara sederhana yakni sebagai berikut:

$$R_f = \frac{1}{2} \rho \cdot C_F \cdot S \cdot V^2 \quad (1)$$

Dimana : C_F = koefisien tahanan
 S = luas permukaan basah
 V = kecepatan kapal
2. Hambatan tekanan (*Pressure Resistance*) R_p .
Merupakan suatu gaya tahanan yang diperoleh dengan cara mengintegrasikan tegangan normal keseluruhan permukaan benda menurut arah gerakan benda. Atau dapat juga dikatakan bahwa hambatan tekanan terjadi karena adanya hambatan tekanan viskositas (*viscous pressure resistance*) R_{PV} dan hambatan gelombang (*wave resistance*) R_w .
Maka hambatan total adalah :

$$R_t = R_f + R_p \quad (2)$$
3. Hambatan viskos
Hambatan Viskos adalah penjumlahan dari beberapa komponen hambatan yakni hambatan bentuk (*viscous form resistance*), hambatan gesek lambung kapal (*naked hull skin Friction*) dan hambatan tahanan lambung kapal (*appendage skin Friction*).

2.3 Perhitungan Tahanan Kapal

Metode yang dikemukakan oleh J.Holtrop dan G.G.J.Mennen yang dituliskan dalam jurnalnya yang berjudul “*An Approximate Power Prediction Method*”, mengungkapkan bahwa metode Holtrop adalah pengembangan dari metode yang sebelumnya. Hanya menambahkan perhitungan-perhitungan yang mengikutsertakan faktor-faktor sehingga menurutnya juga berperan penting dalam mempengaruhi tahanan kapal. Menurut Holtrop & Mennen [3], tahanan total dari suatu kapal dirumuskan sebagai berikut :

$$R_{total} = R_F(1 + k_1) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A \quad (3)$$

dimana :

- R_F : tahanan gesek sesuai dengan rumus gesekan ITTC 1957
 $(1 + k_1)$: koefisien faktor bentuk
 R_{APP} : tahanan *appendages* (pelengkap) seperti rudder dll.
 R_W : tahanan gelombang
 R_B : tahanan tambahan dari adanya *bulbous bow*
 R_{TR} : tahanan tambahan dari adanya transom yang tercelup air
 R_A : *model-ship correlation resistance*

Pada penelitian ini selain menggunakan CFD dilakukan perhitungan dengan menggunakan metode holtrop pada *software* Maxsurf Resistance. Maxsurf juga digunakan untuk menggambar model secara 3 dimensi dan memodifikasi bagian buritan kapal. Model kapal dibuat sesuai *principal dimension* yang telah ada kemudian hasil dari pemodelan kapal disoftware ini di-export ke *CFD software package*.

2.4 Persamaan Dinamika Fluida dalam CFD

Dasar yang fundamental pada hampir semua masalah CFD adalah persamaan Navier-Stokes (dinamakan dari Claude Louis Navier dan George Gabriel Stokes). Dalam persamaan ini, asumsi pertama adalah bahwa fluida *incompressible* (tidak dapat dimampatkan), yang mengarah ke persamaan lain: kekekalan massa (*conservation of mass*). Persamaan (4) dan (5) adalah *incompressible* Reynolds averaged Navier-Stokes (RANS) *equations* dalam bentuk tensor dan persamaan (6) adalah *volume fraction transport equation* [4]:

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] - \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \overline{u'_i u'_j}) + f_i \quad (4)$$

$$\frac{\partial(u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial(c u_j)}{\partial x_j} = 0 \quad (6)$$

Pada penelitian ini model turbulensi yang dipakai adalah *shear stress transport* (SST). Menurut beberapa peneliti, model turbulensi fluida menggunakan *shear stress transport* pada kondisi *isothermal* lebih memberikan akurasi yang lebih baik. Metode turbulen ini telah digunakan oleh R.Menter [5]. Bentuk perilaku transport yang baik dapat diperoleh dari pembatas ke formulasi *eddy-viscosity* [6]:

$$Vt = \frac{a_1 k}{\max(a_1 \omega S F_2)} \quad (7)$$

Dimana,

$$Vt = \frac{\mu_t}{\rho} \quad (8)$$

Metode untuk membentuk dua fluida mengalir melewati domain menggunakan *homogeneous model* di *couple* dengan VOF (*Volume of Fluid*) dipilih karena direkomendasikan untuk aliran permukaan bebas di mana permukaan bebas didefinisikan dengan baik di seluruh domain [6]. *Homogeneous model* memungkinkan dua fase yang berbeda ketika antarmuka berbeda dan terdefinisi, seperti halnya lambung pada permukaan bebas tanpa memecah gelombang [7]. Untuk proses transport yang diberikan, *homogeneous model* mengasumsikan bahwa jumlah yang transport (dengan pengecualian *volume fraction*) untuk proses tersebut adalah sama untuk semua fase, yaitu [6]:

$$\phi_a = \phi \quad 1 \leq a \leq N_p \quad (9)$$

Karena jumlah yang transport dibagi dalam aliran multifase homogen, itu cukup untuk memecahkan bidang bersama menggunakan *bulk transport equation* dari pada memecahkan *individual phasic transport equations*. *Bulk transport equation* dapat diperoleh dengan menjumlahkan *individual phasic transport equations* pada semua fase untuk memberikan persamaan transport tunggal untuk ϕ [6]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \phi) + \nabla \cdot (\rho U \phi - \Gamma \nabla \phi) = S \quad (10)$$

Untuk *turbulence kinetic energy* (k), dan *specific dissipation rate* (ω), dapat diperoleh dari persamaan *transport* 11 dan 12 [8]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - Y_k + S_k \quad (11)$$

dan,

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + S_\omega \quad (12)$$

Dalam persamaan ini, G_k mewakili generasi turbulensi energi kinetik terhadap gradien kecepatan rata-rata. G_ω , mewakili generasi ω . Γk dan $\Gamma \omega$ mewakili difusivitas efektif masing-masing dari k dan ω . Y_k dan Y_ω mewakili disipasi k dan ω karena turbulensi. Semua persyaratan di

atas dihitung seperti yang dijelaskan. S_k dan S_ω adalah istilah sumber yang ditetapkan pengguna.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

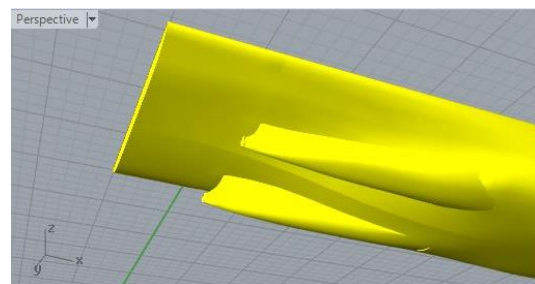
3.1 Model Kapal

Penelitian ini menggunakan *linesplan* kapal Ferry 5000 GT sebagai data utama untuk memodelkan bentuk lambung kapal, yang nantinya akan dilakukan variasi pada buritan kapal. Kapal ini merupakan jenis *kapal twin screw propeller*. Berikut merupakan data ukuran utama kapal:

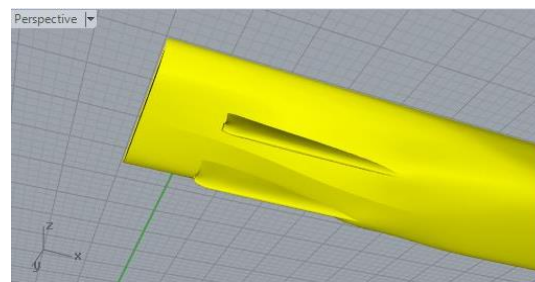
Tabel 1 Data Ukuran Utama Kapal

Parameter	Ferry
Length Over All (LOA)	109,4 m
Length Between Perpendiculars (LPP)	99,2 m
Length Water Line (LWL)	106,82 m
Breadth Molded (B)	19,6 m
Height Molded (H)	5,6 m
Draft / Drough (T)	4,1 m
Speed (Vs)	17 knot
Coeff. Block (Cb)	0,594
Coeff. Midship (Cm)	0,869
Coeff. Prismatic (Cp)	0,684

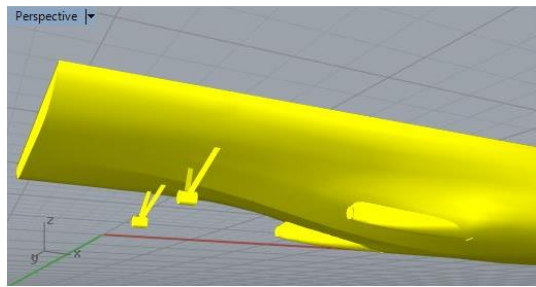
Pada proses pemodelan, kapal dibuat dengan beberapa model. Pemodelan kapal dilakukan dengan menggunakan *software* Maxsurf dengan berbekal data *linesplan* dari kapal Ferry 5000GT. Model kapal dibuat dengan empat variasi bentuk buritan (*sternbulb*) dimana peneliti tidak merubah bentuk lambung utama kapal. Pemodelan hanya mengubah bentuk dari *sternbulb* kapal menjadi beberapa variasi, yaitu:



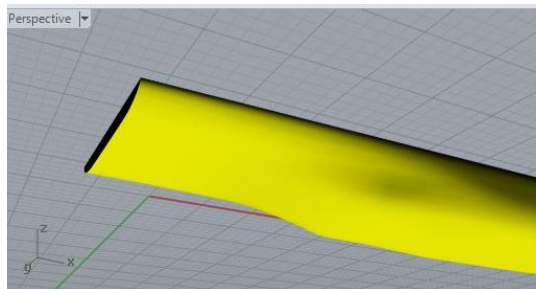
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 1. (a) s/d (d) berturut-turut : model kapal asli (model 1), model kapal dengan dua skeg (model 2), model kapal dengan *hanger* (model 3), dan model kapal tanpa *sternbulb* dan *hanger* (model 4)

3.2 Perhitungan Tahanan Menggunakan Maxsurf Resistance

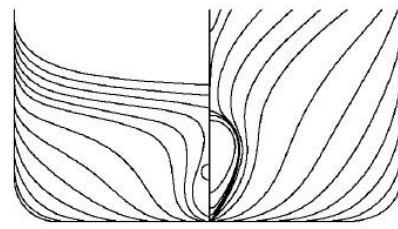
Perhitungan tahanan melalui *software* Maxsurf dimaksudkan menjadi acuan dalam perhitungan tahanan total menggunakan CFD. Perhitungan dilakukan pada ke-empat model dengan variasi kecepatan 15, 17, 19, dan 21 knot. Perlu diketahui kecepatan dinas pada kapal ini adalah 17 knot. Berikut merupakan rekapitulasi perhitungan tahanan total menggunakan *software* Maxsurf.

Tabel 2. Rekapitulasi perhitungan tahanan total menggunakan *software* Maxsurf

Model	Rt (kN)			
	15 knot	17 knot	19 knot	21 knot
Model 1	193,9	273,6	379,7	476,7
Model 2	193	271,6	372	468,1
Model 3	183,7	259,4	355	448,1
Model 4	181,1	256	350	442,3

3.3 Validasi

Pada penelitian ini untuk mem-validasi hasil uji daro model Kapal Ferry 5000 GT, menggunakan data dari peneliti terdahulu, yakni penelitian dari J.Banks [9] yang berjudul *Free Surface CFD Prediction of Components of Ship Resistance for KCS*. Validasi digunakan untuk menentukan setup *boundary condition* yang akan digunakan pada simulasi Kapal Ferry 5000 GT. Berikut merupakan linesplan dari KCS (Kriso Container Ship).



Gambar 2. Linesplan KCS

Berikut merupakan komparasi hasil CFD dengan penelitian terdahulu.

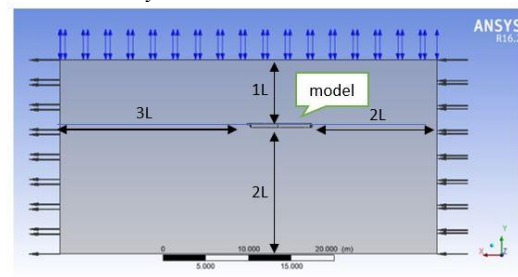
Tabel 3 Hasil Validasi

	Peneliti terdahulu	CFD
$C_T \times 10^{-3}$	3,962	4,161

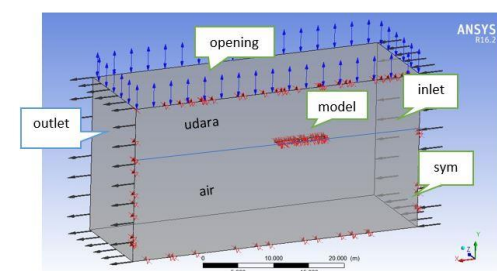
Selisih yang diperoleh antara Peneliti terdahulu dengan proses simulasi CFD adalah sebesar 5,04 %. Setelah proses validasi dilakukan, barulah penulis melakukan simulasi model kapal Ferry 5000 GT dengan beberapa variasi buritan.

3.4 Simulasi Kapal Ferry 5000 GT Menggunakan CFD

Untuk simulasi menggunakan CFD kapal dibuat dengan ukuran asli sesuai dengan tabel 1 dan disimulasikan pada kecepatan 15, 17, 19, dan 21 knot. *Boundary condition setup* dibuat sama dengan proses validasi. Berikut merupakan *setup* dari *boundary condition*.



(a)



(b)

Gambar 3. (a) & (b) *Boundary Condition*

Setup diantaranya *inlet* untuk kecepatan aliran yang masuk dan ketinggian sarat air, *outlet* yang didefinisikan tekanan hidrostatiknya, daerah *opening*, pendefinisian *hull*, *wall*, dan *sym*. Pembuatan *expression* juga dibutuhkan pada simulasi ini. Sedangkan untuk proses *meshing*

penulis menggunakan tetrahedral *mesh* dengan 2,4 juta elemen dan batas konvergensi 10^{-5} . Berikut merupakan hasil dari simulasi menggunakan CFD.

Tabel 4 Rekapitulasi tahanan total model dengan variasi kecepatan

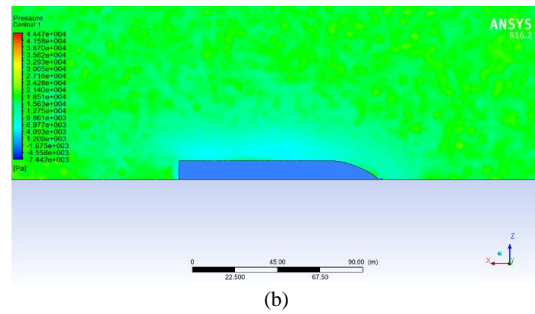
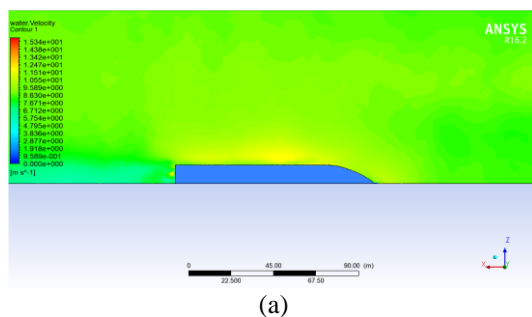
Model Vs	15 knot	17 knot	19 knot	21 knot
Model 1	256,1 kN	314,93 kN	374,45 kN	508,51 kN
Model 2	314,56 kN	352,05 kN	430,38 kN	559,21 kN
Model 3	143,63 kN	281,33 kN	374,46 kN	433,33 kN
Model 4	260,62 kN	307,23 kN	367,38 kN	437,90 kN

Seperti yang tertera pada tabel 4 bahwa model kapal yang memiliki nilai tahanan terkecil pada kecepatan 15 knot adalah kapal model 3 dengan nilai tahanan sebesar 143,633 kN. Angka ini lebih kecil dari perhitungan menggunakan Maxsurf Resistance yakni 183,7 kN. Keduanya memiliki selisih sebesar 21,8 % .

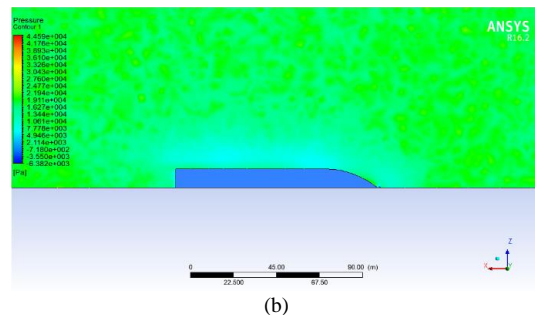
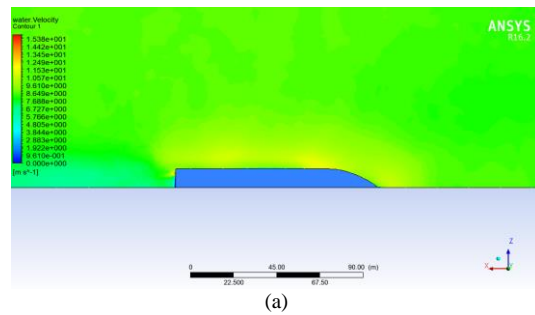
Untuk kecepatan 17 knot, model kapal yang memiliki nilai tahanan terkecil adalah model 3 dengan nilai sebesar 281,333 kN. Angka ini sedikit lebih besar dari perhitungan menggunakan Maxsurf Resistance yakni 259,54 kN. Kedua model memiliki selisih sebesar 8,3 %.

Pada kecepatan 19 knot, model 4 memiliki nilai tahanan yang paling kecil dibandingkan dengan model lainnya. Model ini memiliki nilai tahanan sebesar 367,383 kN. Angka ini sedikit lebih besar dari perhitungan menggunakan Maxsurf Resistance yakni sebesar 350 kN. Keduanya memiliki selisih nilai sebesar 4,9 %.

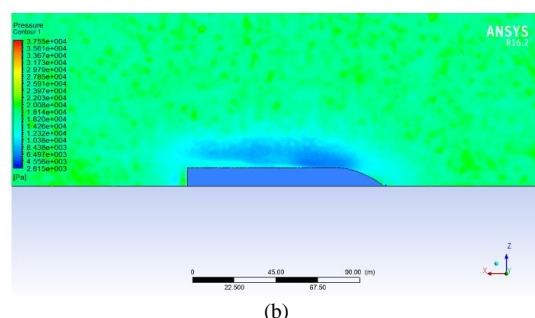
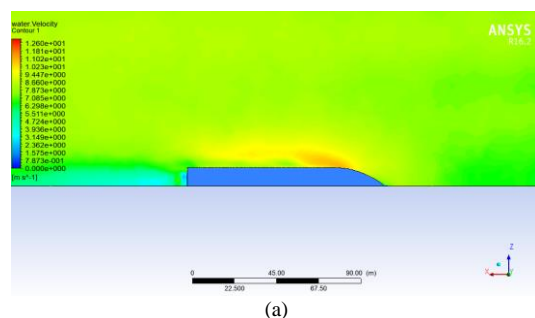
Untuk kecepatan 21 knot, model kapal yang memiliki nilai tahanan terkecil adalah model 3. Model ini memiliki nilai tahanan sebesar 433,333 kN. Angka ini lebih kecil dibandingkan dengan perhitungan menggunakan Maxsurf Resistance yakni sebesar 448,1 kN. Kedua model memiliki selisih sebesar 3,29 %. Berikut merupakan *velocity* dan *pressure contour* untuk keempat model pada kecepatan 17 knot.



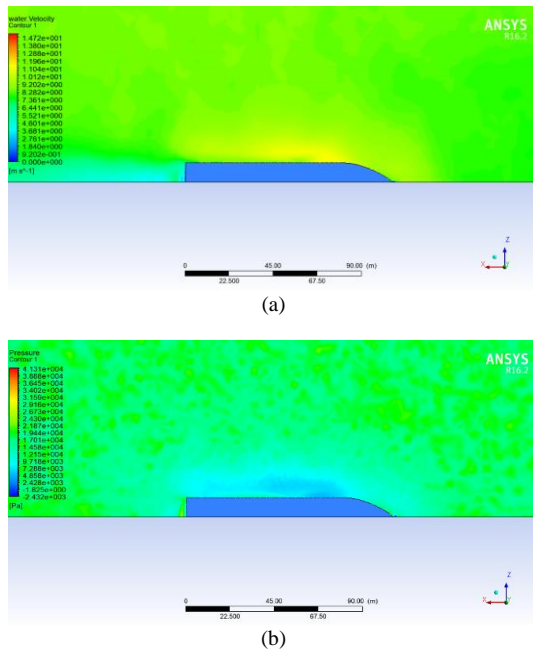
Gambar 4. (a)&(b) Velocity dan pressure contour model 1



Gambar 5. (a)&(b) Velocity dan pressure contour model 2



Gambar 6. (a)&(b) Velocity dan pressure contour model 3



Gambar 7. (a)&(b) Velocity dan pressure contour model 4

Dapat dilihat pada gambar 4 – 7 kecepatan aliran air yang ditimbulkan akibat adanya gesekan air dengan *hull*, semakin besar pada sisi depan dan samping kapal. Kecepatan aliran berada pada *range* 8,2 – 11 m/s. Pada penelitian ini model yang memiliki tahanan terkecil adalah model 3. Namun apabila analisa dilakukan dengan menggunakan propeller, belum tentu model 3 bisa menambah efisiensi dari *propeller* tersebut, dikarenakan letak *propeller* yang jauh di belakang serta dengan adanya poros yang keluar dari lambung (berinteraksi dengan air). Tentu saja dengan keadaan tersebut dimungkinkan adanya aliran turbulen air laut yang bertambah besar menuju ke *propeller*. Untuk bisa membuktikan hal tersebut perlu kiranya di lakukan simulasi dengan menggunakan *propeller*. Dikarenakan pada batasan masalah penelitian ini mengabaikan adanya *propeller*, maka model yang memiliki nilai tahanan terkecil adalah model 3.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa data yang diperoleh, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan pada kecepatan 17 knot, diperoleh bentuk buritan yang memiliki hambatan total terkecil, yakni pada model 3 (model kapal dengan *hanger*) dengan nilai hambatan total sebesar 281,333 kN
2. Dari hasil percobaan variasi kecepatan kapal pada kecepatan 15, 17, dan 21 knot diperoleh kapal dengan bentuk buritan yang memiliki nilai hambatan total terkecil, yakni pada model 3 (tanpa *sternbulb* dan *hanger*), 143,633 kN pada kecepatan 15 knot, 281,333 kN pada kecepatan 17 knot, dan 433,333 kN pada kecepatan 21 knot. Sedangkan pada kecepatan

19 knot model yang memiliki nilai hambatan total terkecil adalah model 3 (dengan *hanger*), dengan nilai 374,467 kN.

5. PUSTAKA

- [1] S. A. Harvald, Resistance and Propulsion of Ship, New York: John Wiley and Sons, 1983.
- [2] P. Couser, A. Molländ, N. Amstrong and I. Utama, "Calm Water Powering Prediction for High Speed Catamarans," in *Fast '97*, Sydney, 1997.
- [3] J. Holtrop and G. Mennen, "An Approximate Power Prediction Methode," 1982.
- [4] J. H. Ferziger and M. Peric, Computational Methods for Fluid Dynamics, Springer, 2002.
- [5] F. R. Menter, "Zonal Two Equation k- ω Turbulence Models for Aerodynamics Flows," in *24th Fluid Dynamics Conference*, Orlando, Florida, 1993.
- [6] ANSYS, ANSYS CFX-Solver Theory Guide, 2009.
- [7] A. Jamaluddin, I. Utama, B. Widodo and A. Molland, "Experimental and Numerical Study of The Resistance Component Interactions of Catamarans," in *Journal of Engineering for The Maritime Environment*, 2012.
- [8] ANSYS, FLUENT Theory Guide, 2015.
- [9] J. Banks, A. Philips, S. Turnock and Stephen, "Free Surface CFD Prediction of Components of Ship Resistance for KCS," in *13th Numerical Towing Tank Symposium*, Germany, 2010.